

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЯ ПО ТРАЕКТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ОКНА

К.А. Смирнов

smk.robotics@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

*Представлен метод управления движением беспилотного автомобиля по траектории с использованием динамического окна, особенностью которого является нахождение группы реализуемых траекторий из множества возможных путем наложения определенных ограничений, а также последующий выбор оптимальной траектории. Проведено тестирование с использованием модели автомобиля в среде «Stage», проанализированы полученные результаты*

### Ключевые слова

*Беспилотный автомобиль, система автоматического управления, модель, моделирование, движение по траектории*

Поступила в редакцию 20.06.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

---

Постоянное совершенствование конструкции беспилотных автомобилей (БА) обуславливает все возрастающую скорость их движения. В этой связи представляется актуальным вопрос управления такими автомобилями при высокой путевой скорости. Рассмотрим решение задачи отслеживания траектории БА. Сначала выберем линейную и угловую скорости, зависящие от текущей ошибки следования по заданной траектории [1], минимизировать которую позволяют различные формы регуляторов. Такой подход имеет существенный недостаток — реализация траектории выполняется с ошибкой, что является принципиальным для любой системы управления. БА в процессе движения будет следовать не по рассчитанной безопасной траектории, а в некоторой близости от нее, следовательно, такое движение заранее нельзя считать безопасным. Кроме того управление движением по траектории с регулятором не в состоянии учесть новые препятствия, а также кинематические и динамические ограничения, накладываемые на параметры движения.

**Постановка и решение задачи.** Для решения задачи отслеживания траектории будем использовать метод динамического окна (рис. 1) при движении БА со скоростью выше 5 м/с [2].

В начальный момент времени происходит расчет траектории движения к заданной точке на основе данных многослойной карты местности. Каждый слой построен по показателям разных сенсорных систем робота, также карта содержит информацию о препятствиях или степени проходимости местности.

В процессе движения по заданной траектории, находясь на некотором расстоянии перед машиной, перемещается точка — виртуальный маяк. Он обозначает желаемое положение автомобиля на траектории и не зависит от самой машины. Положение маяка определяют рассчитанным профилем скорости движения по траектории, учитывающим динамические ограничения движения БА: максимальное ускорение и замедление, максимальное центростремительное ускорение, максимальное угловое ускорение. При движении система ориентируется не на продольное отклонение центра масс от траектории, а на виртуальный маяк. Задача системы — рассчитать управляющие воздействия так, чтобы через время  $t$ , машина оказалась в точке, где находится виртуальный маяк. Для этого в каждый момент времени рассматривают конечное множество всех возможных траекторий, которые являются выполнимыми, с точки зрения кинематики и динамики автомобиля. Ограничения выбора параметров движения представлены на рис. 2. Этими ограничениями являются: максимальная и минимальная скорости, минимальный радиус поворота и максимальное допустимое центростремительное ускорение, определяемое сцепными свойствами шин БА. Далее вычислим положение, ширину и высоту динамического окна. Положение окна определяют по текущим параметрам движения БА, а размеры — по динамическим ограничениям изменений этих параметров за единицу времени.

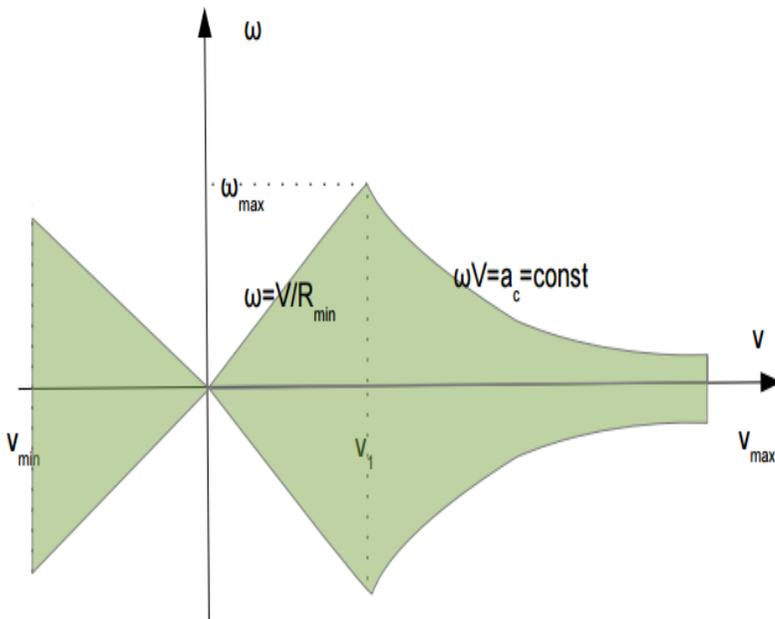


Рис. 1. Метода динамического окна

После нахождения динамического окна накладываем его на множество всех траекторий, исключая нереализуемые. Каждая точка динамического окна определяет локальную траекторию движения БА в ближайший отрезок

времени. Принимаем допущение, что в течение этого времени параметры не изменятся, поэтому каждая локальная траектория представляет собой окружность определенного радиуса. На последнем этапе определяем возможность движения по каждой из рассматриваемых локальных траекторий с учетом карт препятствий и проходимости. Далее вычислим «стоимость» каждой траектории, которая зависит от положения на картах проходимости: чем ровнее участок прохождения траектории, тем более высокую «стоимость» она имеет. Также на «стоимость» влияет положение БА по отношению к виртуальному маяку в конце траектории. Для реализации выбирают траекторию с максимальной «стоимостью».

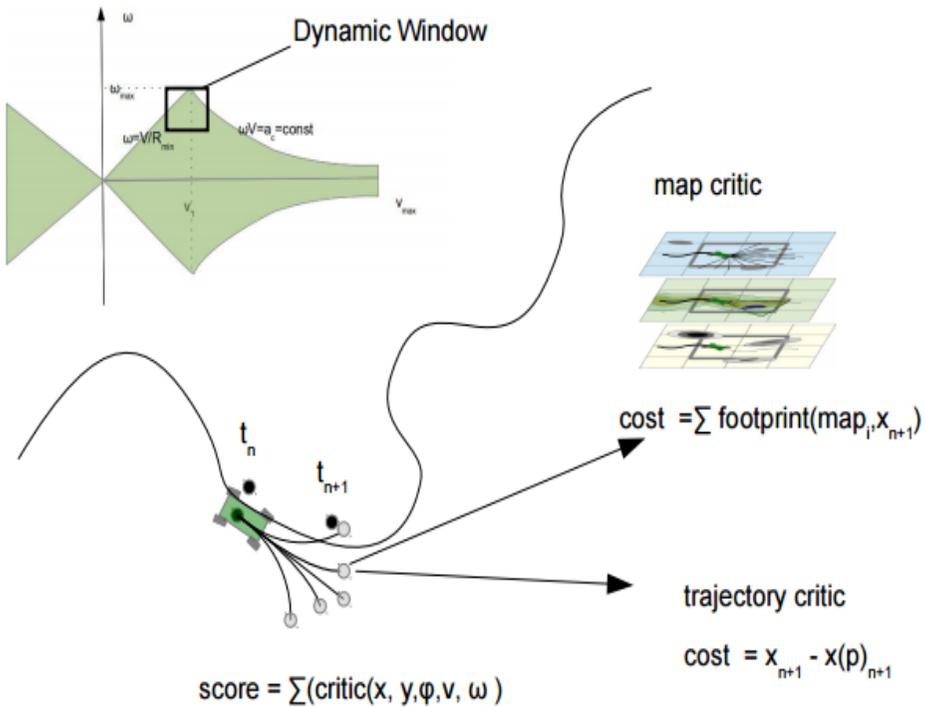
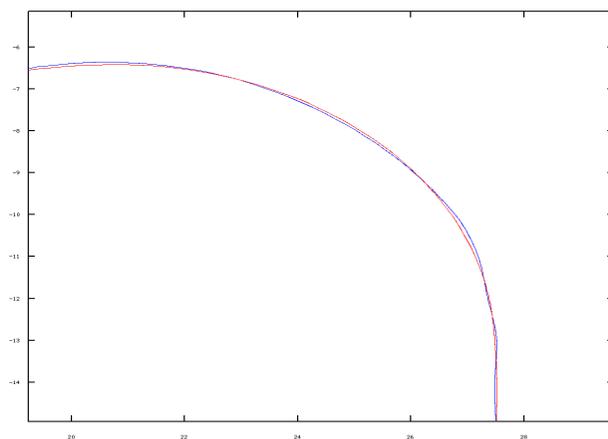


Рис. 2. Метод динамического окна и ограничения выбора параметров движения

Подтвердить достоверность полученных результатов позволяет среда для двумерного моделирования движения колесных роботов «Stage» [3–5]. В качестве экспериментальной математической модели выбран автомобиль с четырьмя независимыми поворотными колесами на электрической тяге. На рис. 3 красной линией обозначена часть заданной траектории, синей линией — часть траектории, полученной в ходе эксперимента. Установлено, что максимальная скорость автомобиля может достигать 10 м/с, а отклонение от заданной траектории не превышает 0,2 м. Однако при более сложной конфигурации траектории и увеличении скорости движения отклонение может составить 1 м.



**Рис. 3.** Движение модели БА по заданной траектории (график красного цвета) и траектории, полученной в ходе эксперимента (график синего цвета)

**Выводы.** В ходе эксперимента установлено, что данный метод применим для управления БА на скорости до 10 м/с, при дальнейшем увеличении скорости отклонение становится критическим.

### Литература

1. Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э. Системы управления движением колесных роботов. СПб.: Наука, 2001. 227 с.
2. Fox D., Burgard W., Thrun S. The dynamic window approach to collision avoidance. *Robotics & Automation Magazine*. 1997. Vol. 4. No. 1. P. 23–33. DOI: 10.1109/100.580977
3. Hedges R. About Stage // The Player Project official website. URL: <http://playerstage.sourceforge.net/index.php?src=stage> (дата обращения: 02.10.2016).
4. Kritayakirana K. Autonomous vehicle control at the limits of handling // *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*. 2012. Vol. 10. No. 4. P. 271–296. DOI: 10.1504/IJVAS.2012.051270
5. Kapania N., Gerdes C. Design of a feedback-feedforward steering controller for accurate path tracking and stability at the limits of handling // *Vehicle System Dynamics*. 2015. Vol. 53. No. 12. P. 1687–1704. DOI: 10.1080/00423114.2015.1055279

**Смирнов Кирилл Андреевич** — аспирант кафедры «Теория механизмов и машин», инженер НУЦ «Робототехника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — А.А. Минин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника», начальник отдела автоматизации транспортных средств НУЦ «Робототехника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

## TRAJECTORY CONTROL OF THE UNMANNED VEHICLE BY DANAMIC WINDOW METHOD

K.A. Smirnov

smk.robotics@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

*This paper describes a method for trajectory control of the unmanned vehicle motion by using a dynamic window. A special feature of this method is the determination of the realized trajectories group out of many possible trajectories by imposing certain restrictions, and the subsequent selection of the optimal trajectory. We carried out a test using the model of the car in environment "Stage" and analysed the results*

### Keywords

*Unmanned vehicle, automatic control system, model, modeling, trajectory motion*

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

---

### References

- [1] Burdakov S.F., Miroshnik I.V., Stel'makov R.E. Sistemy upravleniya dvizheniem kolesnykh robotov [Wheeled robot motion control systems]. Sankt-Petersburg, Nauka Publ., 2001. 227 p. (in Russ.).
- [2] Fox D., Burgard W., Thrun S. The dynamic window approach to collision avoidance. Robotics & Automation Magazine, 1997, vol. 4, no. 1, pp. 23–33. DOI: 10.1109/100.580977
- [3] Hedges R. About Stage. The Player Project official website. URL: <http://playerstage.sourceforge.net/index.php?src=stage> (accessed 02.10.2016).
- [4] Kritayakirana K. Autonomous vehicle control at the limits of handling. International Journal of Vehicle Autonomous Systems, 2012, vol. 10, no. 4, pp. 271–296. DOI: 10.1504/IJVAS.2012.051270
- [5] Kapania N., Gerdes C. Design of a feedback-feedforward steering controller for accurate path tracking and stability at the limits of handling. Vehicle System Dynamics, 2015, vol. 53, no. 12, pp. 1687–1704. DOI: 10.1080/00423114.2015.1055279

**Smirnov K.A.** — post-graduate student of the Department of Theory of mechanisms and machines, engineer of Research and Training Center "Robotics", Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — A.A. Minin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of the Department of Special robotics and mechatronics, head of the department of Automated vehicles, Research and Training Center "Robotics", Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.